

Francisco Odécio Sales
Karine Moreira Gomes Sales
(Organizadores)

Cultura, epistemologia e educação em ciências exatas e da terra



Atena
Editora
Ano 2021

Francisco Odécio Sales
Karine Moreira Gomes Sales
(Organizadores)

Cultura, epistemologia e educação em ciências exatas e da terra



Atena
Editora
Ano 2021

Editora chefe

Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira

Editora executiva

Natalia Oliveira

Assistente editorial

Flávia Roberta Barão

Bibliotecária

Janaina Ramos

Projeto gráfico

Camila Alves de Cremo

Daphynny Pamplona

Gabriel Motomu Teshima

Luiza Alves Batista

Natália Sandrini de Azevedo

Imagens da capa

iStock

Edição de arte

Luiza Alves Batista

2021 by Atena Editora

Copyright © Atena Editora

Copyright do texto © 2021 Os autores

Copyright da edição © 2021 Atena Editora

Direitos para esta edição cedidos à Atena Editora pelos autores.

Open access publication by Atena Editora



Todo o conteúdo deste livro está licenciado sob uma Licença de Atribuição Creative Commons. Atribuição-Não-Comercial-Não-Derivativos 4.0 Internacional (CC BY-NC-ND 4.0).

O conteúdo dos artigos e seus dados em sua forma, correção e confiabilidade são de responsabilidade exclusiva dos autores, inclusive não representam necessariamente a posição oficial da Atena Editora. Permitido o *download* da obra e o compartilhamento desde que sejam atribuídos créditos aos autores, mas sem a possibilidade de alterá-la de nenhuma forma ou utilizá-la para fins comerciais.

Todos os manuscritos foram previamente submetidos à avaliação cega pelos pares, membros do Conselho Editorial desta Editora, tendo sido aprovados para a publicação com base em critérios de neutralidade e imparcialidade acadêmica.

A Atena Editora é comprometida em garantir a integridade editorial em todas as etapas do processo de publicação, evitando plágio, dados ou resultados fraudulentos e impedindo que interesses financeiros comprometam os padrões éticos da publicação. Situações suspeitas de má conduta científica serão investigadas sob o mais alto padrão de rigor acadêmico e ético.

Conselho Editorial**Ciências Exatas e da Terra e Engenharias**

Prof. Dr. Adélio Alcino Sampaio Castro Machado – Universidade do Porto

Profª Drª Ana Grasielle Dionísio Corrêa – Universidade Presbiteriana Mackenzie

Prof. Dr. Carlos Eduardo Sanches de Andrade – Universidade Federal de Goiás

Profª Drª Carmen Lúcia Voigt – Universidade Norte do Paraná

Prof. Dr. Cleiseano Emanuel da Silva Paniagua – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás

Prof. Dr. Douglas Gonçalves da Silva – Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia

Prof. Dr. Eloi Rufato Junior – Universidade Tecnológica Federal do Paraná



Profª Drª Érica de Melo Azevedo – Instituto Federal do Rio de Janeiro
Prof. Dr. Fabrício Menezes Ramos – Instituto Federal do Pará
Profª Dra. Jéssica Verger Nardeli – Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho
Prof. Dr. Juliano Carlo Rufino de Freitas – Universidade Federal de Campina Grande
Profª Drª Luciana do Nascimento Mendes – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte
Prof. Dr. Marcelo Marques – Universidade Estadual de Maringá
Prof. Dr. Marco Aurélio Kistemann Junior – Universidade Federal de Juiz de Fora
Profª Drª Neiva Maria de Almeida – Universidade Federal da Paraíba
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte
Profª Drª Priscila Tessmer Scaglioni – Universidade Federal de Pelotas
Prof. Dr. Sidney Gonçalo de Lima – Universidade Federal do Piauí
Prof. Dr. Takeshy Tachizawa – Faculdade de Campo Limpo Paulista



Cultura, epistemologia e educação em ciências exatas e da terra

Diagramação: Daphynny Pamplona
Correção: Yaidy Paola Martinez
Indexação: Amanda Kelly da Costa Veiga
Revisão: Os autores
Organizadores: Francisco Odécio Sales
Karine Moreira Gomes Sales

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

C968 Cultura, epistemologia e educação em ciências exatas e da terra / Organizadores Francisco Odécio Sales, Karine Moreira Gomes Sales. – Ponta Grossa - PR: Atena, 2021.

Formato: PDF

Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader

Modo de acesso: World Wide Web

Inclui bibliografia

ISBN 978-65-5983-756-4

DOI: <https://doi.org/10.22533/at.ed.564212012>

1. Ciências exatas e da terra. I. Sales, Francisco Odécio (Organizador). II. Sales, Karine Moreira Gomes (Organizadora). III. Título.

CDD 507

Elaborado por Bibliotecária Janaina Ramos – CRB-8/9166

Atena Editora
Ponta Grossa – Paraná – Brasil
Telefone: +55 (42) 3323-5493
www.atenaeditora.com.br
contato@atenaeditora.com.br



Atena
Editora
Ano 2021

DECLARAÇÃO DOS AUTORES

Os autores desta obra: 1. Atestam não possuir qualquer interesse comercial que constitua um conflito de interesses em relação ao artigo científico publicado; 2. Declaram que participaram ativamente da construção dos respectivos manuscritos, preferencialmente na: a) Concepção do estudo, e/ou aquisição de dados, e/ou análise e interpretação de dados; b) Elaboração do artigo ou revisão com vistas a tornar o material intelectualmente relevante; c) Aprovação final do manuscrito para submissão.; 3. Certificam que os artigos científicos publicados estão completamente isentos de dados e/ou resultados fraudulentos; 4. Confirmam a citação e a referência correta de todos os dados e de interpretações de dados de outras pesquisas; 5. Reconhecem terem informado todas as fontes de financiamento recebidas para a consecução da pesquisa; 6. Autorizam a edição da obra, que incluem os registros de ficha catalográfica, ISBN, DOI e demais indexadores, projeto visual e criação de capa, diagramação de miolo, assim como lançamento e divulgação da mesma conforme critérios da Atena Editora.



DECLARAÇÃO DA EDITORA

A Atena Editora declara, para os devidos fins de direito, que: 1. A presente publicação constitui apenas transferência temporária dos direitos autorais, direito sobre a publicação, inclusive não constitui responsabilidade solidária na criação dos manuscritos publicados, nos termos previstos na Lei sobre direitos autorais (Lei 9610/98), no art. 184 do Código Penal e no art. 927 do Código Civil; 2. Autoriza e incentiva os autores a assinarem contratos com repositórios institucionais, com fins exclusivos de divulgação da obra, desde que com o devido reconhecimento de autoria e edição e sem qualquer finalidade comercial; 3. Todos os e-book são *open access*, *desta forma* não os comercializa em seu site, sites parceiros, plataformas de *e-commerce*, ou qualquer outro meio virtual ou físico, portanto, está isenta de repasses de direitos autorais aos autores; 4. Todos os membros do conselho editorial são doutores e vinculados a instituições de ensino superior públicas, conforme recomendação da CAPES para obtenção do Qualis livro; 5. Não cede, comercializa ou autoriza a utilização dos nomes e e-mails dos autores, bem como nenhum outro dado dos mesmos, para qualquer finalidade que não o escopo da divulgação desta obra.



APRESENTAÇÃO

A coleção “Cultura, epistemologia e educação em ciências exatas e da terra” é uma obra que objetiva uma profunda discussão técnico-científica fomentada por diversos trabalhos dispostos em meio aos seus 17 capítulos. Esse 1º volume abordará de forma categorizada e interdisciplinar trabalhos, pesquisas, relatos de casos e/ou revisões que nos transitam vários caminhos das Ciências exatas e da Terra, bem como suas reverberações e impactos econômicos e sociais a luz da epistemologia.

Tal obra objetiva publicizar de forma objetiva e categorizada estudos e pesquisas realizadas em diversas instituições de ensino e pesquisa nacionais e internacionais. Em todos os capítulos aqui expostos a linha condutora é o aspecto relacionado às Ciências Naturais, tecnologia da informação, ensino de ciências e áreas afins correlatos ao locus cultural.

Temas diversos e interessantes são deste modo, discutidos aqui com a proposta de fundamentar o conhecimento de acadêmicos, mestres e todos aqueles que de alguma forma se interessam por inovação, tecnologia, ensino de ciências e demais temas. Possuir um material que demonstre evolução de diferentes campos da engenharia, ciência e ensino de forma temporal com dados geográficos, físicos, econômicos e sociais de regiões específicas do país é de suma importância, bem como abordar temas atuais e de interesse direto da sociedade.

Deste modo a obra Cultura, epistemologia e educação em ciências exatas e da terra apresenta uma profunda e sólida fundamentação teórica bem com resultados práticos obtidos pelos diversos professores e acadêmicos que desenvolvem seu trabalho de forma séria e comprometida, apresentados aqui de maneira didática e articulada com as demandas atuais. Sabemos o quão importante é a divulgação científica, por isso evidenciamos também a estrutura da Atena Editora capaz de oferecer uma plataforma consolidada e confiável para estes pesquisadores exporem e divulguem seus resultados.

Francisco Odécio Sales
Karine Moreira Gomes Sales

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1..... 1

A SHORT NOTE ON THE ELECTRON-POSITRON PAIR CREATION

Eduardo De Paiva

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.5642120121>

CAPÍTULO 2..... 9

BREVES COMENTÁRIOS ACERCA DA GEOQUÍMICA DAS TERRAS PRETAS DE ÍNDIO (TPI's) NA AMAZÔNIA

Matheus Cavalcante Silva

Bianca Soares Costa

Fernanda Ravana da Conceição Silva

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.5642120122>

CAPÍTULO 3..... 15

APRENDIZAGEM BASEADA EM PROBLEMAS NO CONTEXTO AROMAS: UMA PROPOSTA DE MATERIAL PARADIDÁTICO PARA O ENSINO DE FUNÇÕES ORGÂNICAS

Fernando Vasconcelos de Oliveira

Vanessa Candito

Mara Elisa Fortes Braibante

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.5642120123>

CAPÍTULO 4..... 27

CAPTAÇÃO E ARMAZENAMENTO DA ÁGUA DA CHUVA EM ESCOLA DO CAMPO SITUADA NA REGIÃO DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO JAURU-MT, ATRAVÉS DE PROJETO SUSTENTÁVEL - CISTERNA

Luiz Cláudio Almeida Martins

Rosiane Alexsandra dos Santos Costa

Solange Aparecida Arrolho da Silva

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.5642120124>

CAPÍTULO 5..... 41

CARACTERIZAÇÃO DA ÁGUA DO MAR NO ENTORNO DE FAZENDA MARINHA NA ENSEADA DO BANANAL, ILHA GRANDE, ANGRA DOS REIS, RIO DE JANEIRO

Vanessa de Magalhães Ferreira

Tatiana Ribeiro Briglia

Bruno Saliba Souza Almeida

Gabriel Soares Cruz

Camila de Leon Lousada Borges

Gleici Natali Montanini dos Santos

Marcos Bastos Pereira

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.5642120125>

CAPÍTULO 6..... 69

LICENCIAMENTO AMBIENTAL DE EMPREENDIMENTOS MINERÁRIOS EM ÁREAS

CÁRSTICAS NO MUNICÍPIO DE OUROLÂNDIA NO PERÍODO DE 2007 A 2014

Antonieta Antenora Italia Candia

Arlene Lula Moreira De Oliveira

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.5642120126>

CAPÍTULO 7..... 81

EVAPOTRANSPIRAÇÃO E OS COEFICIENTES DE CULTURA DO CAUPI NO NORDESTE PARAENSE, BRASIL

Vivian Dielly da Silva Farias

Marcos José Alves de Lima

Hildo Giuseppe Garcia Caldas Nunes

Deborah Luciany Pires Costa

Denis de Pinho Sousa

Paulo Jorge de Oliveira Ponte de Souza

Vandeilson Belfort Moura

Sandra Andréa Santos da Silva

José Farias Costa

Maysa Lorrane Medeiros de Araújo

Dayse Drielly Souza Santana Vieira

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.5642120127>

CAPÍTULO 8..... 94

DIAGNÓSTICO ENÉRGICO: UM ESTUDO DE CASO SOBRE O SISTEMA DE ILUMINAÇÃO NA FATEC FRANCO DA ROCHA

Carlos Eduardo Oliveira Santos

José Eduardo Soares de Almeida

Leonardo Augusto dos Santos

Matheus Lira de Almeida

Silvia Maria Farani Costa

Augusto de Toledo Cruz Junior

Valquiria Pereira Alcantara

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.5642120128>

CAPÍTULO 9..... 110

FORMAÇÃO INICIAL DOCENTE EM GEOGRAFIA: A IMPORTÂNCIA DE SITUAR A ALFABETIZAÇÃO CARTOGRÁFICA NO CONTEXTO DA ALFABETIZAÇÃO ESPACIAL

Ronaldo Goulart Duarte

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.5642120129>

CAPÍTULO 10..... 121

MATERIAL DE APOIO PARA ABORDAGEM DAS TRÊS LEIS DE KEPLER NO ENSINO MÉDIO

Gabriel Luiz Nalon Macedo

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.56421201210>

CAPÍTULO 11..... 130

IMPACTO DO USO DA DINÂMICA DE FLUIDOS COMPUTACIONAL NO PROCESSO

ENSINO-APRENDIZAGEM APLICADO À FENÔMENOS DE TRANSPORTE

Vitor Pancieri Pinheiro
Carlos Friedrich Loeffler Neto
Natan Sian das Neves
Roger da Silva Rodrigues

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.56421201211>

CAPÍTULO 12..... 139

METODOLOGÍA SUPERFICIE DE RESPUESTA: TRES APLICACIONES A CONJUNTOS DE DATOS REALES

René Castro Montoya
José Vidal Jiménez Ramírez
Mario Castro Flores
Ana Gabriela Osuna Páez

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.56421201212>

CAPÍTULO 13..... 154

PERCEÇÃO DO TURISTA SOBRE HOSPITALIDADE: UM ESTUDO NA ROTA ECOLÓGICA ALAGOANA

Gildo Rafael de Almeida Santanata
Marielle Cristina Silva Mendonça
Ademar da Silva Paulino
Uilliane Faustino de Lima

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.56421201213>

CAPÍTULO 14..... 163

REAÇÕES DE CETONAS E POLIÁLCOOIS PARTE 1:AUTO-ALDOLIZAÇÃO E CETALIZAÇÃO PROMOVIDAS PELO CATALIZADOR HIDROFÍLICO E AMORFO $\text{SiO}_2\text{-SO}_3\text{H}$, SOB IRRADIAÇÃO DE MICRO-ONDAS

Sandro Luiz Barbosa dos Santos
Stanlei Ivair Klein
Myrlene de Oliveira Ottone
Milton de Souza Freitas
Maria Luiza Pereira e Oliveira

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.56421201214>

CAPÍTULO 15..... 172

SIMULAÇÃO DE COMPLEXOS FE(III) E CR(III) POR SIDERÓFOROS

Leonardo Konopaski Andreani
Sérgio Ricardo de Lázaro

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.56421201215>

CAPÍTULO 16..... 181

PERCEPCIÓN DE LOS SINALOENSES EN LAS ELECCIONES DEL ESTADO DE SINALOA PARA GOBENADOR, DIPUTADOS FEDERALES Y PRESIDENTES MUNICIPALES EN 2015

René Castro Montoya

José Vidal Jiménez Ramírez

Mario Castro Flores

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.56421201216>

CAPÍTULO 17..... 190

TEAM BASED LEARNING: UMA ESTRATÉGIA DE AVALIAÇÃO COLABORATIVA

Telma Vinhas Cardoso

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.56421201217>

SOBRE OS ORGANIZADORES 206

ÍNDICE REMISSIVO..... 207

IMPACTO DO USO DA DINÂMICA DE FLUIDOS COMPUTACIONAL NO PROCESSO ENSINO-APRENDIZAGEM APLICADO À FENÔMENOS DE TRANSPORTE

Data de aceite: 01/11/2021

Data de submissão: 16/11/21

Vitor Pancieri Pinheiro

Programa de Pós-Graduação em Engenharia
Mecânica, Universidade Federal do Espírito
Santo
Vitória – ES
<http://lattes.cnpq.br/2723699428881346>

Carlos Friedrich Loeffler Neto

Programa de Pós-Graduação em Engenharia
Mecânica, Universidade Federal do Espírito
Santo
Vitória – ES
<http://lattes.cnpq.br/3102733972897061>

Natan Sian das Neves

Programa de Engenharia Civil – PEC/COPPE,
Universidade Federal do Rio de Janeiro
Cidade Universitária – RJ
<http://lattes.cnpq.br/3669643833173206>

Roger da Silva Rodrigues

Colegiado do Curso Técnico em Mecânica –
CCTM, Instituto Federal do Espírito Santo
São Mateus – ES
<http://lattes.cnpq.br/1971264945962410>

RESUMO: A área de fenômenos de transporte está presente na matriz curricular de praticamente todos os cursos de Engenharia do país. É tradicionalmente conhecida por discentes e docentes pela complexidade que marca sua modelagem matemática. Tal área compõe um desafio para o aprendizado dos estudantes, no

que tange ao real entendimento dos conceitos e visualização dos fenômenos físicos, nem sempre triviais. Por outro lado, as modernas técnicas computacionais de simulação numérica, criadas para superar as limitações dos métodos analíticos de solução e oferecer soluções adequadas às demandas da engenharia moderna, também podem atuar como eficientes ferramentas didáticas, dinamizando o processo de aprendizagem dos alunos. Este artigo propõe a solução de um escoamento laminar no interior de um duto cilíndrico através dos recursos da Dinâmica dos Fluidos Computacional (DFC), com intuito de mostrar os efetivos ganhos ligados ao domínio conceitual dos fenômenos físicos, pela facilidade de reprodução dos fenômenos e controle sobre suas variáveis de estado.

PALAVRAS-CHAVES: Dinâmica de Fluidos Computacional; Ensino e Aprendizagem; Fenômenos de Transporte.

ABSTRACT: The area of Transport Phenomena, present through various sciences in the curriculum of virtually all the country's engineering courses, is traditionally known by students and teachers for the complexity that marks their mathematical modeling. This field of study comprises a challenge for student learning, with respect to the real understanding of the concepts and visualization in physical phenomena not always trivial. This paper proposes a solution to a laminar flow inside a cylindrical duct via Computational Fluid Dynamics (CFD), in order to analyze the influence of computational tools of numerical simulation in the improvement of student's learning process. The computational analysis

enables effective gains linked to the conceptual domain of physical phenomena, being an important teaching tool.

KEYWORDS: Computational Fluid Dynamics; Teaching and Learning; Transport Phenomena.

1 | INTRODUÇÃO

A seara de fenômenos de transporte contempla uma série de problemas de interesse prático e científico na engenharia contemporânea. Tal linha de pesquisa apresenta modelagem matemática robusta e alta exigibilidade no que tange ao correto entendimento físico de seus fenômenos associados, compondo um desafio técnico-educacional para discentes e docentes.

A Dinâmica dos Fluidos Computacional (DFC) apresenta-se como uma importante ferramenta potencializadora de ensino-aprendizagem, na medida que insere o conceito de experimentação numérica no processo de aprendizagem gerando uma maior compreensão dos conceitos associados ao comportamento dos fluidos (Versteeg; Malalasekera, 2007).

2 | EQUAÇÕES GOVERNANTES

Os problemas puramente hidrodinâmicos na área de dinâmica dos fluidos são governados de forma completa por equações diferenciais que modelam princípios conservativos (Slattery, 1999). A priori temos a conservação da massa para um fluido considerado incompressível em regime permanente de escoamento. Por sua vez a conservação de momento linear pode ser escrita ao desprezar as forças de campo em uma forma mais geral, conforme mostrado na Eq. (1).

$$\rho u_j \frac{\partial u_i}{\partial x_j} = -\frac{\partial p}{\partial x_i} + \frac{\partial \tau_{ij}}{\partial x_j} \quad (1)$$

Ao considerar o modelo constitutivo de um fluido newtoniano sem efeitos de compressibilidade modela-se o tensor viscoso como tal.

$$\tau_{ij} = \eta \left[\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right] \quad (2)$$

O uso do modelo constitutivo (Eq. (2)) na equação conservativa (Eq. (1)) dá origem a conhecida equação de Navier-Stokes.

$$\rho u_j \frac{\partial u_i}{\partial x_j} = -\frac{\partial p}{\partial x_i} + \eta \frac{\partial^2 u_i}{\partial x_j \partial x_j} \quad (3)$$

Por fim é possível mostrar que existe um agrupamento adimensional com importância ímpar quando se trata de hidrodinâmica, responsável por ponderar a magnitude das forças

inerciais em detrimento das forças viscosas, denominado adimensional de Reynolds (Re). Segue a forma adimensionalizada da equação de Navier-Stokes.

$$u_{j^*} \frac{\partial u_{i^*}}{\partial x_{j^*}} = -\frac{\partial p^*}{\partial x_{i^*}} + \frac{1}{Re} \frac{\partial^2 u_{i^*}}{\partial x_{j^*}^2} \quad (4)$$

A partir da Eq. (4), nota-se a importância do número de Reynolds no contexto da hidrodinâmica do escoamento, uma vez que ele surge na forma adimensionalizada compondo produto com o termo difusivo ou viscoso do escoamento (Schlichting; Gersten, 2003). Entre outras palavras é possível mostrar a relevância dos termos viscosos com uma simples análise limítrofe, ou seja, quando $Re \rightarrow 0$ e $Re \rightarrow \infty$.

3 | MODELAGEM NUMÉRICA

A aplicação do conceito de dinâmica dos fluidos computacional é implementada neste desenvolvimento através do software ANSYS por conta da sua grande difusão no meio acadêmico e profissional. Tal pacote comercial utiliza o método dos volumes finitos (MVF) como técnica aproximada para a solução numérica dos modelos físicos-matemáticos de escoamentos.

3.1 PROBLEMA FÍSICO DE ENGENHARIA

O fenômeno físico a ser solucionado é um escoamento de Hagen-Poiseuille, que corresponde a um escoamento completamente desenvolvido através de um duto circular em regime laminar de fluxo (Schlichting; Gersten, 2003). A escolha de tal escoamento foi motivada pela relativa simplicidade de sua modelagem e conhecimento geral de sua existência pelos estudantes, facilitando desta forma uma posterior análise de ganhos educacionais.

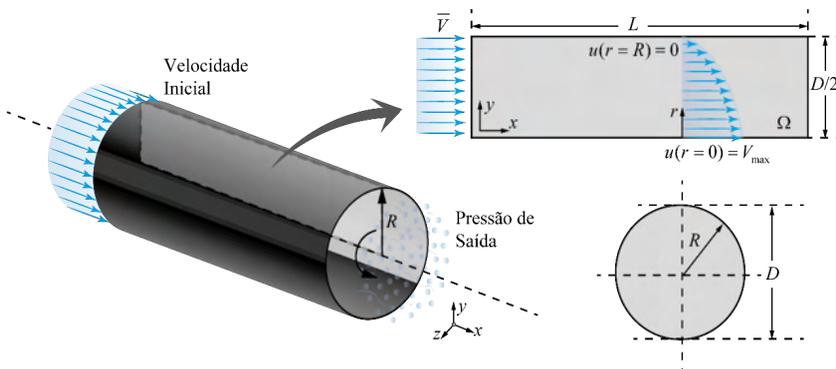


Figura 1. Geometria e condições de contorno do problema físico estudado.

Considere o escoamento por meio de um duto de diâmetro D e comprimento L

com condição hidrodinâmica de em sua entrada e de pressão em sua saída, conforme esquematizado na Figura 1. Além disso, os parâmetros físicos adotados ao longo da simulação computacional do escoamento de ar em um duto circular são apresentados na Tabela 1.

Tipo	Valor	Unidade
Velocidade Inicial	1,00	m
Diâmetro	0,20	m
Viscosidade	0,002	Ns/m ²
Massa Específica	1,00	kg/m ²
Comprimento	8,00	m
Pressão de Saída	1,00	atm

Tabela 1: Dados utilizados na simulação computacional.

No âmbito da hidrodinâmica certos adimensionais merecem relevância diferenciada. O número de Reynolds, tem o importante papel de caracterizar o regime de fluxo no qual se encontra o escoamento, podendo este ser laminar ou turbulento. Para um duto cilíndrico modela-se:

$$Re = \frac{\rho \bar{V} D}{\eta} \quad (5)$$

Um segundo adimensional essencial é o fator de atrito, que tem por função principal contabilizar o gradiente de pressão de escoamentos internos em qualquer condição de regime de fluxo ou rugosidade de parede (Engel; Cimbala, 2015).

$$f = \frac{8\tau_w}{\rho \bar{V}^2} \quad (6)$$

A tensão de cisalhamento de parede pode ser facilmente modelada por um balanço de forças de pressão e cisalhantes na região desenvolvida do escoamento e é dada por:

$$\tau_w = -\frac{R}{2} \frac{\partial p}{\partial x} \quad (7)$$

A solução da Eq. (3) com condições apropriadas de não-deslizamento na parede do duto e gradiente de velocidade nulo na linha de centro resultam em um perfil de velocidade parabólico.

$$u(r) = -\frac{R^2}{4\eta} \frac{\partial p}{\partial x} \left[1 - \left(\frac{r}{R} \right)^2 \right] \quad (8)$$

Este perfil de velocidade tem seu formato constante ao longo do avanço do escoamento a partir de um comprimento de entrada definido empiricamente (Kays *et al.*, 1980).

$$\frac{L_e}{D} \approx 0,05 Re \quad (9)$$

A modelagem analítica do problema de Hagen-Poiseuille é utilizada como diretriz para análise de convergência de malha.

3.2 CONVERGÊNCIA DE MALHA

A fase de teste da malha deve preceder qualquer tipo de geração de resultado por ser tratar de procedimento padrão para certificar-se de que os resultados gerados por determinada simulação estejam corretos (Fortuna, 2000). A validação é executada sempre que possível via parâmetros analíticos por questão de confiabilidade (ver Tabela 2).

Malha	×	Erro (%)
5 × 100	61,41	4,05
10 × 100	63,23	1,20
20 × 100	63,71	0,45
40 × 100	63,83	0,27
80 × 100	63,88	0,18

Tabela 2: Convergência de malha da simulação computacional.

No caso do escoamento laminar em dutos na região desenvolvida, a malha utilizada é do tipo estruturada e o parâmetro mais adequado recai sobre o produto $f \times R_e$, que representa um balanço de quantidade de movimento na região desenvolvida, ou mais simploriamente um balanço de forças (Soares, 1999). Dessa forma, garantindo a calibragem do produto $f \times R_e$ com o resultado clássico da literatura ($f = 64/R_e$), pode-se afirmar que a região desenvolvida como um todo do escoamento está convergida.

3.3 POTENCIAL DIDÁTICO DO DFC

As simulações computacionais fornecem a estudantes, pesquisadores e profissionais ferramentas potencializadoras no intuito do entendimento de fenômenos físicos de interesse, seja para investigação científica ou aplicações.

A abrangência da experimentação numérica comporta a manipulação de problemas físicos de ordens de complexidade diversa, se comportando bem em casos mais simples ou mesmo em fenômenos mais exigentes do ponto de vista matemático-comportamental (Clóvis, 2013). Entretanto, o potencial didático implícito no uso de recursos computacionais revela-se de forma mais clara na manipulação de um problema físico simples tal como é o escoamento laminar de um duto cilíndrico.

A interação do fluido com superfícies sólidas em qualquer escoamento interno é marcada pela presença de uma região próxima a superfície na efeitos viscosos são significantes, denominada região de camada limite. O entendimento do processo de desenvolvimento da camada limite em um tubo é fundamental para posterior estudo da região desenvolvida do escoamento. Entretanto a correta visualização deste processo nem sempre é tão trivial, dando ensejo ao uso de novas ferramentas potencializadoras de aprendizado, como é o caso do DFC.

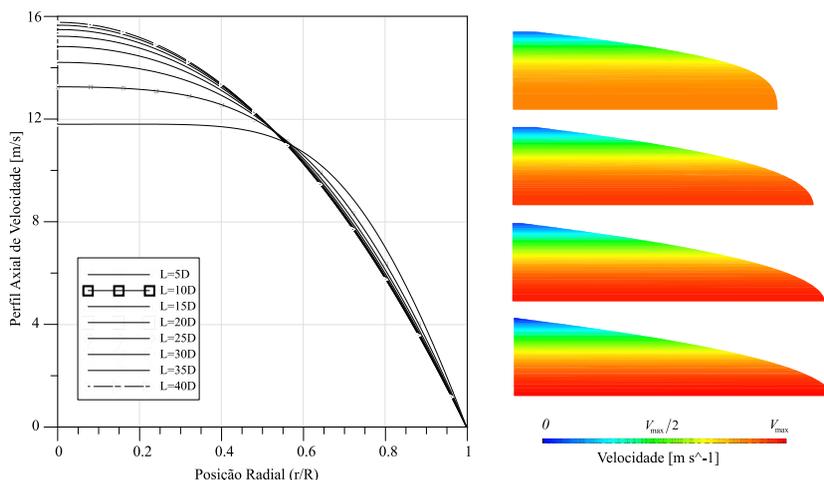


Figura 2. Desenvolvimento do perfil de velocidade axial.

A Figura 2 representa de forma clara a mudança no perfil de velocidade ao longo de várias posições axiais diferentes. A ideia central da camada-limite é elucidada ao comparar o perfil em $L = 5D$, que apresenta um formato achatado representativo de uma grande região de escoamento com gradiente nulo, portanto fora da camada-limite, com o último perfil de velocidade em $L = 40D$ cuja característica parabólica ilustra um formato na região desenvolvida invariante com a direção axial, no qual o escoamento apresenta efeitos viscosos em toda sua extensão. Os resultados das simulações numéricas são extraídos com facilidade nos ambientes de DFC mostrando a versatilidade e o dinamismo presentes nesse conceito.

É possível também a confirmação de modelos analíticos e empíricos através do DFC, consolidando o entendimento de diversos comportamentos físicos por mais de uma ótica de análise. Um exemplo peculiar é do comprimento hidrodinâmico de entrada dado pela Eq. (9). O comprimento de entrada nessa expressão empírica é função, de forma geral, do número de Reynolds. Há diversas formas de analisar este parâmetro de desenvolvimento, tal como acompanhar a aceleração da linha de centro do escoamento, como ilustra a Figura 3.

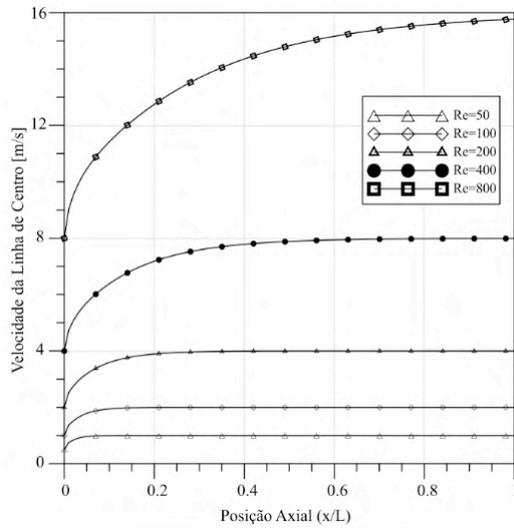


Figura 3. Velocidade da linha de centro em função da posição axial.

A manutenção de uma mesma geometria à medida que o número de Reynolds é consecutivamente dobrado relevam um comportamento parecido ao da Figura 3, onde o comprimento de entrada coincide com o ponto das curvas onde a velocidade de centro estabiliza-se próxima ao seu patamar máximo, equivalente ao dobro da velocidade média no sobre o eixo das ordenadas.

Se por um lado o comprimento de entrada foi determinado pela linha de centro, de forma análoga poderia ser estimado pelo fator de atrito ou mesmo pela queda de pressão ao longo da tubulação, processo este que seria extremamente trabalhoso numa coleta experimental, em detrimento a experimentação numérica que pode também ser rápida e precisa num problema de natureza tão simples. Tais recurso empíricos e computacionais não se portam em concorrência e sim em mutualismo, ou seja, é importante retirar o melhor do potencial de cada um deles.

Mais um dos importantes ganhos gerados pelo DFC caracteriza-se pela facilidade na execução de análises paramétricas. Após a convergência e geração de uma malha de qualidade é possível testar o comportamento de uma variável de interesse em relação a várias outras, configurando-se uma ferramenta interessante na exploração e entendimento dos pormenores do um fenômeno em estudo.

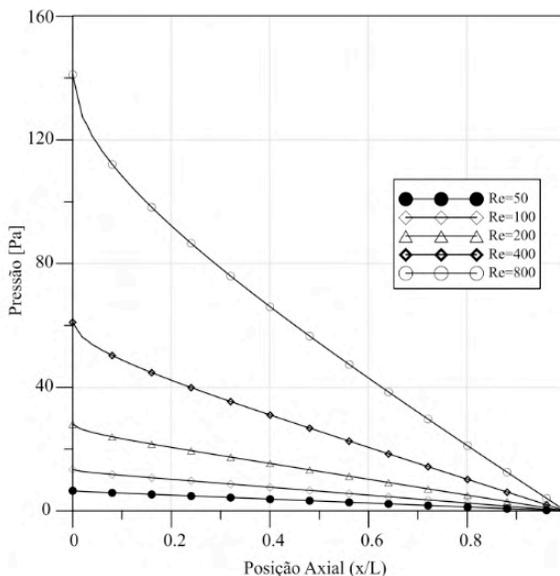


Figura 3. Queda de pressão ao longo da direção axial.

O comportamento mostrado na Figura 5 representa uma análise da queda de pressão a medida do avanço do escoamento pela tubulação em função do adimensional de Reynolds. Tal análise revela a queda de pressão não linear na região de entrada, e posterior queda de pressão com gradiente constante na região desenvolvida. Tal comportamento deve-se ao fato de atrito que se estabiliza a um valor constante na região desenvolvida, o que seria facilmente observável como um gráfico de sensibilidade do mesmo ao longo da direção axial.

As vantagens e motivações aqui apresentadas ao uso do conceito DFC são extremamente contundentes em todas as vertentes de ensino, a saber, em nível de graduação e pós-graduação. Graduandos em contato com ferramentas computacionais geram para si um novo horizonte de aprendizado, análise e visualização dinâmica de fenômenos físicos, ampliando um escopo antes restrito a modelagem matemática. Em linhas paralelas, pesquisadores, estudantes de mestrado e doutorado utilizam-se do DFC e seus recursos na investigação e solução de tópicos complexos tais como turbulência, combustão, comportamento reológicos complexos que nem sempre apresentam a disposição, soluções analíticas ou mesmo dados experimentais. Em tais situações a experimentação numérica figura como única opção para análise, o que mostra sua importância vital na ciência contemporânea.

4 | CONSIDERAÇÕES FINAIS

No passado, a ausência de recursos computacionais fazia com que os testes de laboratório através de protótipos e modelos em escala reduzida dominassem o cenário tecnológico. Nos dias atuais, a simulação computacional oferece a oportunidade de realizar projetos de engenharia e otimizá-los através de modelos numéricos eficientes e pouco custosos. Essa mesma ferramenta pode ser usada com o intuito de catalisar o processo de aprendizado, pela agilidade na reprodução fenomênica e no controle e alteração das múltiplas variáveis de estado, que estão presentes, sobretudo, na área de fenômenos de transporte.

Nesse contexto, as técnicas computacionais são imprescindíveis na seara educacional servindo como um versátil meio de investigação científica para docentes e discentes, permitindo uma dinamização do ensino-aprendizado de diversos fenômenos, uma vez que viabilizam praticidade na execução de múltiplos testes ou mesmo possibilitam a simulação de problemas cuja experimentação é inviável.

REFERÊNCIAS

VERSTEEG, H. K; MALALASEKERA, W. **An Introduction to Computational Fluid Dynamics: The Finite Volume Method**. Pearson Education, 2007.

SLATTERY, J. C. **Advanced Transport Phenomena**. Cambridge University Press, 1999.

SCHLICHTING, H.; GERSTEN, K. **Boundary Layer Theory**. Springer Science, 2003.

CENGEL, Y. A.; CIMBALA, J. M. **Mecânica dos Fluidos: Fundamentos e Aplicações**. Porto Alegre: AMGH Editora, 2015.

KAYS, W. M.; CRAWFORD M. E.; WEIGAND, B. **Convective Heat Transfer**. McGraw Hill, 1980.

SOARES, E. J. **Transferência de calor em escoamento laminar de materiais viscoplásticos através de espaços anulares**. 80f. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação de Engenharia Mecânica, PUC-Rio, Rio de Janeiro, 1999.

FORTUNA, A. O. **Técnicas computacionais para dinâmica dos fluidos: conceitos básicos e aplicações**. São Paulo: Edusp, 2000.

CLÓVIS, R. M. **Transferência de calor e mecânica dos fluidos computacional**. Rio de Janeiro: LTC, 2013.

ÍNDICE REMISSIVO

SÍMBOLOS

1-3 dioxolanas 163

A

Agricultura 12, 48, 66, 93, 108, 122, 149, 172

Alfabetização espacial 5, 110, 111, 115, 117, 118

Alfabetização geográfica 110, 112, 114, 115, 118

Amazônia 4, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 81, 83, 93

Aprendizagem baseada em problemas; 15

Aromas; 15, 16

Auto-aldolização 6, 163

Avaliação 7, 19, 29, 38, 82, 93, 109, 111, 156, 157, 159, 160, 190, 191, 194, 195, 198, 200, 201, 202, 204, 206

B

B3LYP 172, 174

C

Cetalização 6, 163, 166, 167

Cetonas protonadas 163

Cromo (III) 172

D

Década do oceano 42, 48

Demanda hídrica 82

DFT 172, 173

Diagnóstico energético 94, 96, 97, 98

Dinâmica de fluidos computacional 5, 130

Diseño y análisis de experimentos 139

E

Electron-positron pair 4, 1, 2, 5, 7

Ensino de Física 8, 121, 128, 129, 203

Ensino de química 15, 16, 23, 24, 25

Ensino e aprendizagem 130, 191

Estratificado 181, 184, 185, 187, 189

F

Fenômenos de transporte 6, 130, 131, 138

Ferro (III) 172

G

Geoquímica 4, 9, 12, 13

H

Hidrólise de cetais 163

História da física 121, 127

Hospitalidade 6, 154, 156, 160, 161

I

Iluminação artificial 94, 96

J

Johannes Kepler 121, 122, 124, 125, 128, 129

L

LED 94, 95, 96, 97, 101, 102, 103, 105, 107, 108, 109

Lisímetros 82, 83, 84, 85, 86, 93

M

Malacocultura 42, 43, 45, 46, 47, 49

Meio ambiente 33, 34, 35, 36, 38, 51, 64, 69, 70, 71, 76, 78, 94, 95, 97, 101, 102, 106, 154, 161

Metodología 6, 139, 140, 141, 153, 189

Metodologia ativa 23, 25, 190, 193, 202

Modelos 32, 82, 83, 97, 132, 135, 138, 139, 141

Movimento planetário 121, 123, 124, 125, 126, 127, 129

Muestreo 181, 182, 183, 184, 185, 186, 187, 189

O

Oceanografia 41, 42

P

Pair production 1, 2, 3, 6, 7, 8

Pensamento espacial 110, 111, 112, 114, 115, 117, 118, 119

Piscicultura marinha 42, 44, 47, 49, 63

Planejamento 27, 31, 95, 155, 161, 162, 192, 201, 206

Población 181, 183, 184, 185, 186, 187, 189

Posicionamento estratégico 154, 157

Propostas de aulas 121, 123, 124, 125, 126, 127, 128

Q

Química computacional 172, 174

S

Sideróforo 172, 173

Sílica sulfonada 163, 165

Superfície de resposta y pruebas de hipótesis 139

Sustentabilidade 10, 12, 13, 14, 27, 33, 34, 35, 38, 40, 42, 47, 48, 102, 155, 157, 159, 160

T

Tamaño de muestra 181, 183, 184, 185, 186, 189

Team based learning 7, 190, 192, 202

Terras pretas 4, 9, 10, 11, 12, 13, 14

Triplet pair production 1, 3, 6, 7, 8

U

Uso consciente 35

V

Vigna unguiculata L 82, 87

W

Walp. Penman-monteith 82

Cultura, epistemologia e educação em ciências exatas e da terra



www.atenaeditora.com.br 

contato@atenaeditora.com.br 

@atenaeditora 

www.facebook.com/atenaeditora.com.br 

Atena
Editora

Ano 2021

Cultura, epistemologia e educação em ciências exatas e da terra



www.atenaeditora.com.br 

contato@atenaeditora.com.br 

[@atenaeditora](https://www.instagram.com/atenaeditora) 

www.facebook.com/atenaeditora.com.br 

 **Atena**
Editora

Ano 2021